

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ШХ15 ПРИ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕМ ВЫГЛАЖИВАНИИ КЛИНОВЫМ СКОльзяЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

В.П. Кузнецов<sup>\*</sup>, д.т.н., доц.,  
А.С. Скоробогатов<sup>\*</sup>, к.т.н., м.н.с.,  
Ю.Б. Червач<sup>\*\*</sup>, к.т.н., доц.,  
В.Г. Горгоц<sup>\*\*\*</sup>, к.т.н., доц.,

<sup>\*</sup>Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,

<sup>\*\*</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

<sup>\*\*\*</sup>Курганский государственный университет, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр.4.  
тел. (343)-375-44-44

E-mail: [wpkuzn@mail.ru](mailto:wpkuzn@mail.ru)

Наноструктурирующее выглаживание, являющееся перспективной технологией финишной обработки, предполагает использование сферического индентора для формирования нанокристаллической структуры в поверхностном слое деталей из конструкционных сталей [1-2]. Однако при использовании сферического индентора в задней относительно движения части, образуется высокий уровень растягивающих напряжений, негативно влияющих на качество формируемого наноструктурированного слоя [2]. В то же время известно, что в случае применения клиновидного индентора данный эффект проявляется в значительно меньшей степени [3-4]. Для решения данной проблемы в работе [5] предложена технология выглаживания клиновым цилиндрическим инструментом (рис. 1) и установлены оптимальные режимы обработки стали ШХ15. Однако в ходе проведенных ранее исследований не было учтено влияние угла клина на контактное трение. В данной работе рассмотрено влияние контактного трения индентора с обрабатываемой поверхностью на формирование наноструктурированного слоя при различных углах наклона клина.

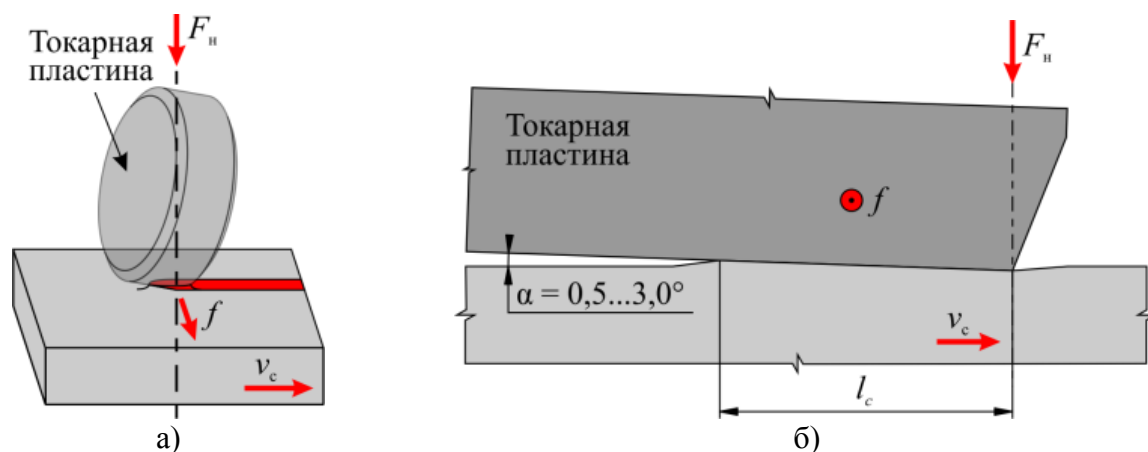


Рис. 1. Схема клинового цилиндрического выглаживания плоской детали

Экспериментальные исследования выполнены на образцах типа "диск" из стали ШХ15 диаметром 90 мм и толщиной 12 мм, которые были предварительно подвергнуты термообработке закалке при температуре 830 °С и отпуску при 300 °С. После термообработки образцы имели структуру отпущенного мартенсита и твердость 56...57 HRC. После предварительной токарной обработки была обеспечена однородная шероховатость поверхности Ra=0,8 мкм.

В рамках экспериментального исследования на образцах были выглажены кольцевые дорожки шириной 15 мм, на каждой из которых токарная пластина была наклонена под различным углом 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0° к обрабатываемой поверхности. Нормальная сила выглаживания была установлена на уровне  $F_N=250$  Н, подача инструмента составляла  $f=0,025$  мм/об. В процессе выглаживания в зону обработки непрерывно подавалась смазочно-охлаждающая технологическая среда FUCHS. Обработка была выполнена на токарном станке KNUTH V-TURN 410. На суппорте станка был установлен трёхосевой динамометр Kistler 9257BA, в котором закреплён выглаживающий инструмент. Динамометр обеспечивал непрерывную запись трёх компонент силы реакции в контакте индентора с обрабатываемой поверхностью.

С помощью динамометра получены временные зависимости нормальной  $F_x$ , радиальной  $F_y$  и тангенциальной  $F_z$  составляющих силы реакции в контакте скользящего индентора в течение всего процесса выглаживания. На основе экспериментальных данных была рассчитана величина контактного коэффициента трения (рис. 2, а).

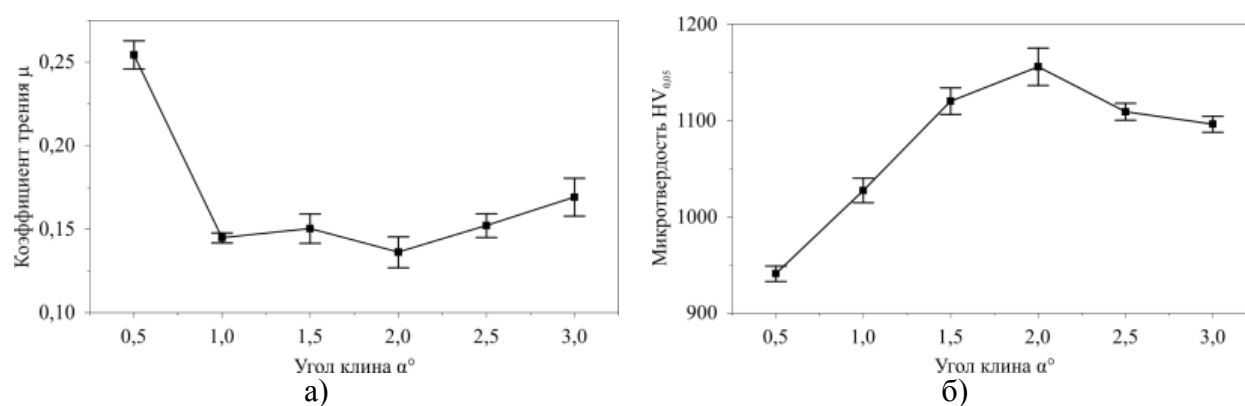
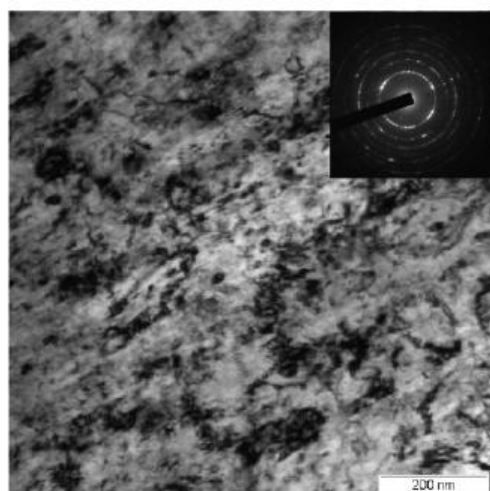


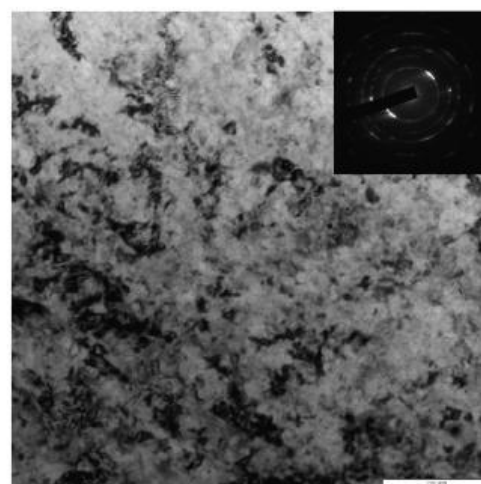
Рис. 2. Зависимости коэффициента трения (а) и микротвердости (б) от угла клина

Измерения микротвердость выглаженных поверхностей были выполнены на микротвердомере Leica VMHT при нагрузке на пирамидку Виккерса 0,05 кгс.

На рис. 2, б показано влияние угла клина на коэффициент трения и микротвердость наноструктурированного слоя.



а)



б)

Рис. 3. Просвечивающая электронная микроскопия поверхностного слоя после выглаживания с углом клина  $\alpha=2,0^\circ$  (а) и  $\alpha=0,5^\circ$  (б)

Формирование наиболее однородной и дисперсной зеренной структуры (рис. 3, а) и наибольшее упрочнение поверхностного слоя обеспечивается при наименьшем коэффициенте трения. Такие условия обеспечиваются при угле клина  $\alpha=2,0^\circ$ . В случае с малым углом клина  $\alpha=0,5^\circ$  наблюдается наибольший уровень фрикционной нагрузки, который, в свою очередь негативно влияет на качество формируемой поверхности. В результате чего при угле  $\alpha=0,5^\circ$  обеспечивается формирование смешанной УМЗ- и нанокристаллической структуры (рис. 3, б), обладающей наименьшей из полученных микротвердостью.

#### Список литературы:

1. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехника. – 2014. – №2. – С. 86-89.
2. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей. Дис. док. техн. наук. — В.П. Кузнецов.: КГУ, 2013. — 341 с.
3. Sundaram N.K., Gou Y., Chandrasekar S. Mesoscale Folding, Instability, and Disruption of Laminar Flow in Metal Surfaces // Physical Review Letters. – 2012. – V. 109. –No. 10. – P. 106001.
4. Wang X. Formation of Nanocrystallized Structure in Worn Surface Layer of T10 Steel against 20CrMnTi Steel during Dry Rubbing // Journal of Nanomaterials. – 2016. – V. 2016. –P. 1–6.
5. Скоробогатов А.С., Белорусец А.М. Наноструктурирование поверхностного слоя стали ШХ15 выглаживанием клиновым цилиндрическим выглаживанием // Сборник материалов XIX Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов — молодых ученых (Екатеринбург, 19-23 ноября 2018 г.). – С.57-61.